

フェムト秒光子エコーパルスの広帯域平衡ホモダイン検出

Broadband Balanced Homodyne Detection of Femtosecond Photon Echo Pulses

¹慶應義塾大学, ²情報通信研究機構 ○松下 玲¹, Terence Blesin¹, 赤羽 浩一², 早瀬 潤子¹
¹Keio Univ., ²NICT ○Rei Matsushita¹, Terence Blesin¹, Kouichi Akahane², and Junko Ishi-Hayase¹

E-mail: rei_matsushita@z2.keio.jp

【背景・目的】量子ドット(QD)集合体と光子エコー(PE)を組み合わせた手法は、フェムト秒光パルスに対する広帯域量子インターフェースを実現する手法として注目されている。そこで、PE光の量子状態を評価し、PE量子インターフェースの忠実度を調べるのが重要である。光の量子状態の評価方法として、平衡ホモダイン検出により位相平面上の擬似確率分布であるWigner関数を再構築する光ホモダイントモグラフィ(OHT)^[1]が挙げられる。OHTをPE信号に適用するには、高繰り返し周波数(~100 MHz)かつ単一光子レベルのフェムト秒光パルスを、1つ1つ独立に検出する必要がある。しかしながら、散乱光などのノイズが大きい系において、広帯域平衡ホモダイン検出によるOHTの実現は容易ではなく、QD集合体から発生した高繰り返しかつ単一光子レベルのフェムト秒光パルスの広帯域平衡ホモダイン検出は、これまでほとんど報告されていない。

本研究では広帯域平衡ホモダイン検出器の評価及び光学系の構築を行い、PE信号のOHT及び量子状態の評価を行ったので報告する。

【方法】PE信号のOHTの概念図をFig. 1 (a)に示す。中心波長 1530 nm、繰り返し周波数 76 MHzの光をビームスプリッターで3つに分岐させた。そのうち2つの光をData Pulse(k_1)、Read Pulse(k_2)とし、時間差 τ をつけてQDsに入射しPE信号を発生させ、高強度のLocal Oscillator(LO)と干渉させ平衡ホモダイン検出を行った。平衡ホモダイン検出器には350 MHzの広帯域性を有するソーラボ社製差分増幅器PDB435C-ACを用いた。またデジタルオシロスコープのSampling rateを10 GSa/s、Acquisition timeを50 μ sとし、各位相差において約3800個の直交位相振幅値を測定し、逆ラドン変換を用いてWigner関数を再構築した。

【結果】OHTにより再構築したPE信号のWigner関数をFig. 1(b) (c)に示す。Fig. 1 (b)は遅延時間 $\tau = -20$ psでありPE信号は発生しておらず、真空状態と同じほぼ位相平面の原点中心のガウシアン分布が得られた。一方、Fig. 1 (c)では中心が原点からシフトしたWigner関数を得ることが出来た。よって超微弱かつ高繰り返し周波数のPE信号のOHTに成功したといえる。またFig. 1 (c)のWigner関数の分散幅は0.502となり、ほぼコヒーレント状態の分散幅の理論値である0.5と一致した。よって再生されたPE信号が転写・再生過程を経てもコヒーレント状態を保っていることを確認することに成功した。発表では、Wigner関数の再構築に関して逆ラドン変換だけでなく、得られた確率分布から最適な分布関数を推定する最尤推定法や、系全体の検出効率が低くても正確なWigner関数を再構築できるMiniMax法を用いた解析結果についても述べる。

本研究の一部は、科研費(15H05868)および先端量子科学アライアンス(APSA)、JSPS core-to-core Program、スピントロニクスセンターの支援を受けて行われた。また本研究で用いたサンプルは、NICTフォトニックデバイスラボの協力の下作製された。

[1] M. G. Raymer, *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B, **12**, 1801 (1995).

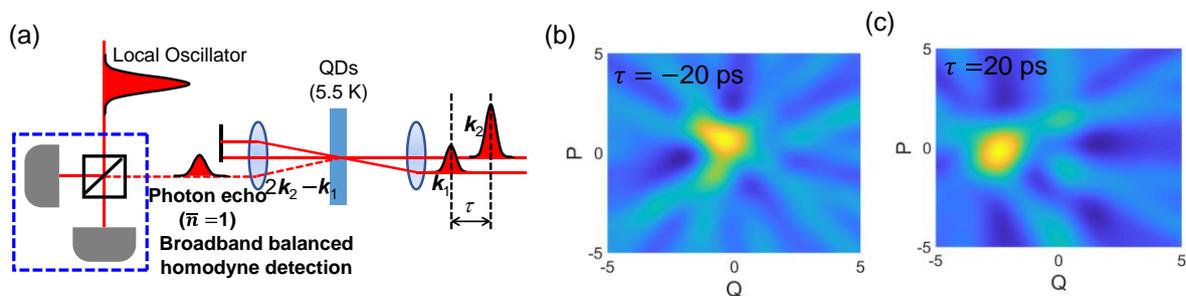


Fig. 1 (a) Experimental setup for OHT of photon echo signals (b) Reconstructed Wigner function of photon echo signals (a) Time delay $\tau = -20$ ps (b) Time delay $\tau = 20$ ps